UNIVERSITE SAAD DAHLEB 1

Institut des Sciences Vétérinaires

Mécanique des fluides

1. Objet de la mécanique des fluides :

La mécanique des fluides est la sciences qui étudie le mouvement des fluides (gaz et liquides).

2. Notion des fluides :

On réunit ; sous le nom de fluides des matériaux d'apparences très différentes tels que l'eau, l'huile, et l'air dans les conditions ordinaires. Un fluide peut être considéré comme étant une substance constitué d'un grand nombre de particules matérielles, très petites et libres de se déplacer les unes par rapport aux autres. C'est donc un milieu matériel continu, déformable, sans rigidité et qui peut s'écouler. Les forces de cohésion entres particules élémentaires sont extrêmement faibles qui leurs donne la caractéristique de ne pas avoir **une forme propre** et qui leurs permet de prendre immédiatement la forme du récipient solide qui le contient**.**

3. Les fluides et ses propriétés :

Isotropie: les propriétés physiques (vitesse, densité, masse volumique) sont identiques dans toutes les directions de l'espace.

Mobilité : les particules peuvent se déplacer ou se déformées sans rigidité, elles sont libre de se déplacer les unes par rapport aux autres

Compressibilité : la compressibilité permet de classer les fluides en deux catégories.

-Fluides compressibles : **les gaz**

-Fluides incompressibles : **les liquides**

Masse volumique : la masse volumique ρ d'un fluide est la masse de l'unité de volume de ce fluide. Elle s'exprime *en* kg/m^3 Les fluides sont caractérisés par leur masse volumique

$$\rho = \frac{masse}{volume} = \frac{M}{V}$$

M : masse du fluide *(kg)*
V : volume du fluide *(m^3)*
ρ : masse volumique *(kg/m^3)*

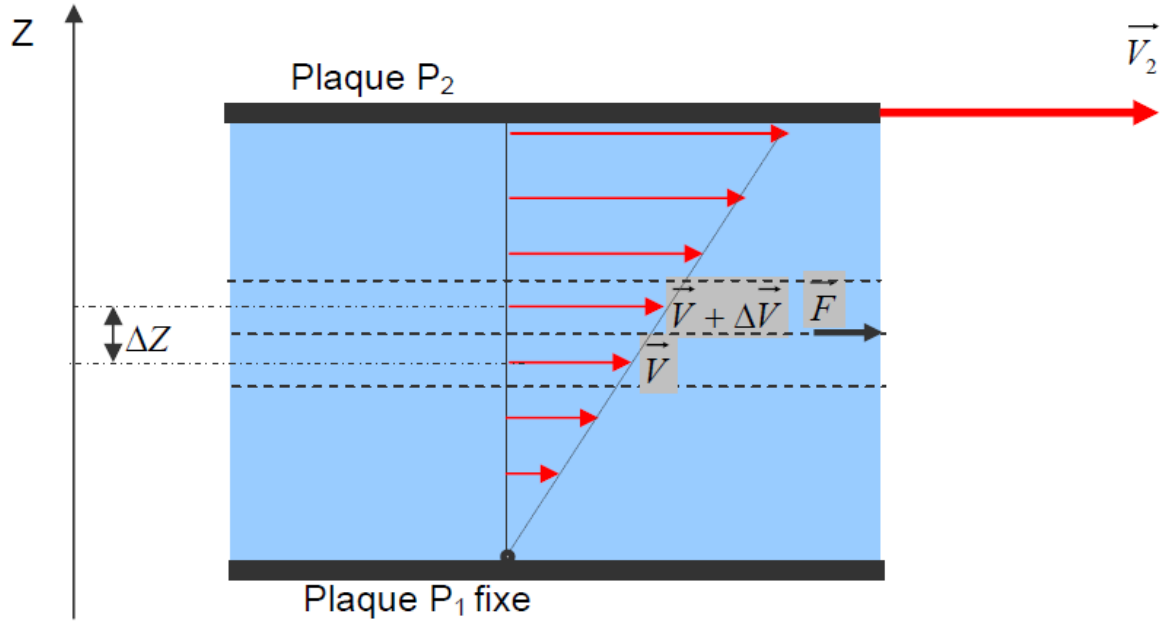
Densité : la densité est le rapport de la masse volumique du fluide rapportée à un corps de référence. C'est une grandeur sans unité définie par :

$$d = \frac{\rho}{\rho_{ref}}$$

Viscosité : c'est une grandeur qui caractérise les forces de frottements internes du fluide, autrement dit sa capacité à s'écouler. Elle caractérise la résistance d'un fluide à son écoulement lorsqu'il est soumis à l'application d'une force. C'est à dire, les fluides de grande viscosité résistent à l'écoulement et les fluides de faible viscosité s'écoulent facilement.

La viscosité est déterminée par la capacité d'entraînement que possède une couche en mouvement sur les autres couches adjacentes.

Par exemple, si on considère un fluide visqueux placé entre deux plaques P_1 et P_2, tel que la plaque P_1 est fixe et la plaque P_2 est animée d'une vitesse V_2 .



Si on représente par un vecteur, la vitesse de chaque particule située dans une section droite perpendiculaire à l'écoulement, la courbe des extrémités de ces vecteurs représente le profil de vitesse. Le mouvement du fluide peut être considéré comme résultant du glissement des couches de fluide les unes sur les autres. La vitesse de chaque couche est une fonction de la distance Z. On distingue la viscosité dynamique et la viscosité cinématique.

La viscosité dynamique

La viscosité dynamique exprime la proportionnalité entre la force qu'il faut exercer sur une plaque lorsqu'elle est plongée dans un courant et la variation de vitesse des veines de fluide entre les 2 faces de la plaque. ...Elle est exprimée par un coefficient représentant la contrainte de cisaillement nécessaire pour produire un gradient de vitesse d'écoulement d'une unité dans la matière.

Considérons deux couches de fluide adjacentes distantes de Δz. La force de frottement F qui s'exerce à la surface de séparation de ces deux couches s'oppose au glissement d'une couche sur l'autre. Elle est proportionnelle à la différence de vitesse des couches soit Δv, à leur surface S et inversement proportionnelle à Δz : Le facteur de proportionnalité μ est le coefficient de viscosité dynamique du fluide.

$$F = \mu S \frac{\Delta V}{\Delta Z}$$

F : force de glissement entre les couches en (N),

μ : Viscosité dynamique en *(kg/m.s)*,

S : surface de contact entre deux couches en (m^2),

ΔV : Écart de vitesse entre deux couches en (*m/s*),

ΔZ : Distance entre deux couches en (*m*).

Dans le cas ou $\mu=0$ *:* le fluide est **parfait**.

Dans le cas ou $\mu\neq0$ *:* le fluide est **réel**.

La viscosité cinématique

La viscosité cinématique, ν, est définie comme étant le rapport entre la viscosité dynamique et la masse volumique.

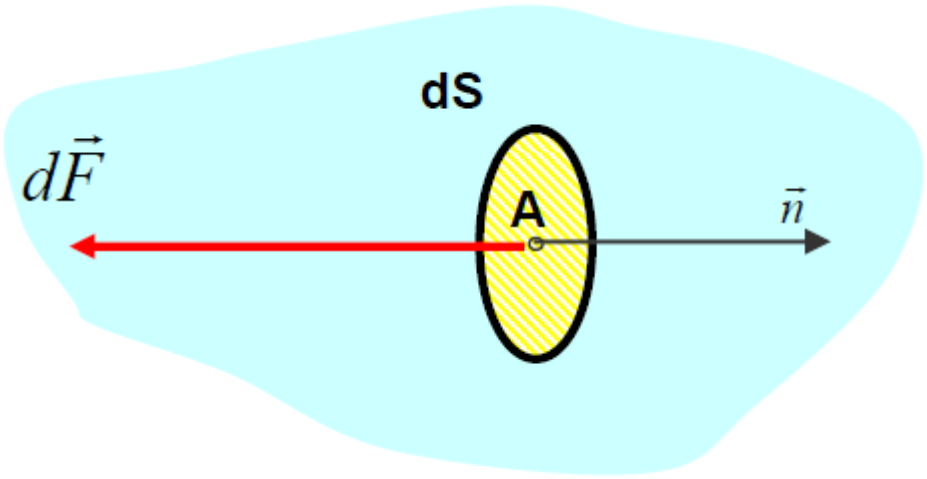
$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$

4. Conclusion

Les fluides peuvent être classés en fluides **parfaits (sans frottement)**, fluides **réels (avec frottement)**, fluides **incompressibles (liquides)** et fluides **compressibles (gaz)**. Les fluides sont caractérisés par les propriétés suivantes: la masse volumique, le poids volumique, la densité et la viscosité. Ces propriétés seront utilisées ultérieurement.

II Hydrostatique

1. **Objet de l'hydrostatique :** c'est l'étude des fluides au repos
2. **Pression en un point d'un fluide :** La pression est une grandeur scalaire. C'est l'intensité de la composante normale de la force qu'exerce le fluide sur l'unité de surface.
   Soit $\vec{n}$ le vecteur unité porté par la normale en un point O d'une surface à l'intérieur d'un fluide.



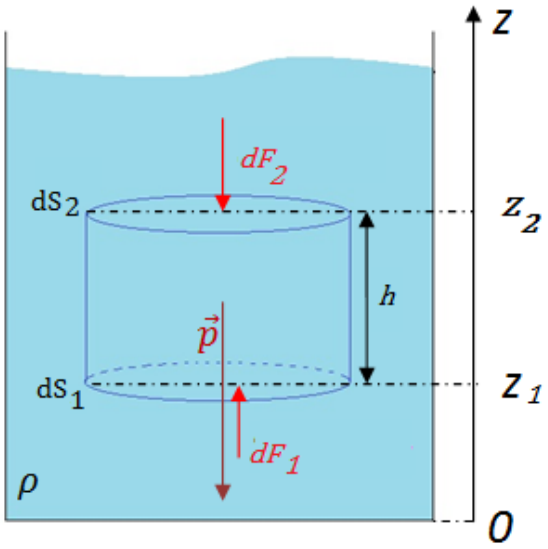
Le module *dF* de la force de pression $\overrightarrow{dF}$ qui s'exerce, sur l'élément de surface *dS*, la parite A du fluide, la pression en un point A d'un fluide est définie par l'expression suivante :

$$\overrightarrow{dF} = \vec{n}\, dF \qquad , \qquad P = \frac{\|\overrightarrow{dF}\|}{dS}$$

3. La relation fondamentale de l'hydrostatique

3.1 Variation de la pression à l'intérieur d'un liquide au repos

Soit un cylindre limité par deux éléments de surface dS_1 et dS_2 de cotes Z_1 et Z_2 ou règnent les pressions P_1 et P_2



Le cylindre élémentaire étant en équilibre dans le fluide, écrivons que la résultante des forces extérieures qui lui sont appliquées est nulle :

$$\sum \overrightarrow{F_{ext}} = \vec{0}$$

$$\sum \overrightarrow{F_{ext}} = \overrightarrow{dF_1} + \overrightarrow{dF_2} + d\vec{p} = \vec{0}$$

Ou *p* est le poids du cylindre

La relation par rapport à l'axe *(OZ)* :

$$dF_1 - dF_2 - dp = 0$$

$$dF_1 - dF_2 = dp$$

$$dF_1 - dF_2 = dmg \quad (1)$$

On sait que la masse volumique $\rho = \frac{m}{V}$

Ainsi $m = \rho V$

Et $V = S.h$ (S est la surface et h la hauteur du cylindre)

Donc l'équation (1) :

$$dF_1 - dF_2 = g.\rho.dV = g.\rho.h.dS$$

$$P_1 dS_1 - P_2 dS_2 = g.\rho.h.dS$$

Avec : $dS_1 = dS_2 = dS$

Ainsi : $\boxed{P_{\text{bas}} = P_{\text{HAUT}} + \rho . g . h}$

3.2 Variation de la pression à l'intérieur d'un liquide en présence d'une accélération :

L'équation de mouvement :

$$\sum \overrightarrow{F_{ext}} = m\vec{\gamma}$$

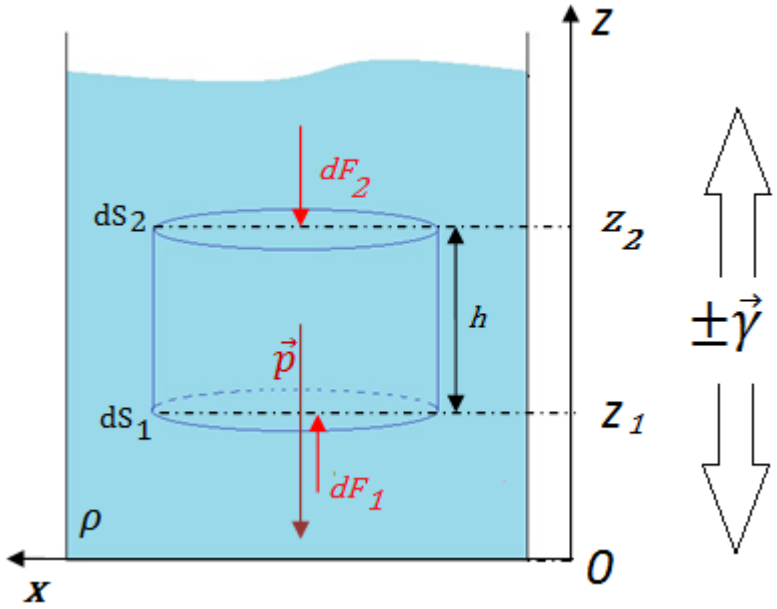
$$\sum \overrightarrow{F_{ext}} = \overrightarrow{dF_1} + \overrightarrow{dF_2} + d\vec{p} = m\vec{\gamma}$$

La relation par rapport à l'axe *(OZ)* :

$$dF_1 - dF_2 = dmg \pm m\gamma$$

$$P_1 dS_1 - P_2 dS_2 = g.\rho.h.dS \pm \rho.h.dS\,\gamma$$

Ainsi : $\boxed{P_1 = P_2 + \rho.h.(g \pm \gamma)}$



4. **Théorème de Pascal**

a. **Enoncé :** Dans un fluide incompressible en équilibre, toute variation de pression en un point entraîne la même variation de pression en tout autre point.

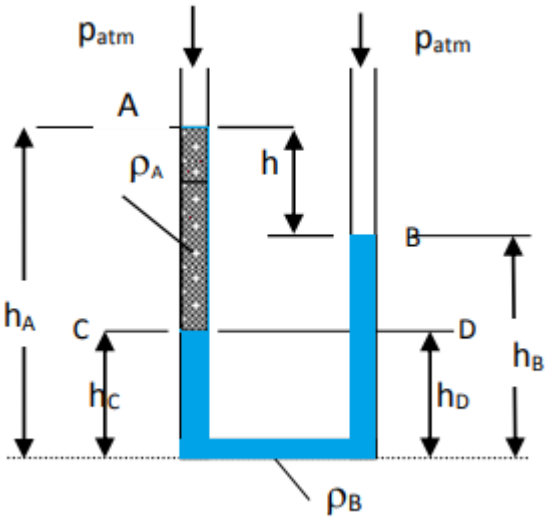
b. **Application**

-Dans le cas de deux liquides non miscibles :

Liquides miscibles et **liquides non miscibles**

Deux liquides sont **miscibles** s'ils forment un mélange homogène. Exemple : L'eau et l'alcool, l'eau et le sirop de menthe. **Deux liquides** ne sont pas **miscibles** s'ils forment un mélange hétérogène.

Soit un tube en U rempli d'un liquide de masse volumique (ρ_B), si on verse dans l'une des branches un autre liquide non miscible au premier et de masse volumique (ρ_A) est versé, il est observé une dénivellation $h=(h_A-h_B)$ entre les deux liquides. Les deux surfaces libres étant à la pression atmosphérique. D'après le principe de Pascal, il est possible d'écrire les équations suivantes :



$$\begin{cases} P_C = P_{atm} + \rho_A g(h_A - h_c) \\ P_D = P_{atm} + \rho_B g(h_B - h_D) \end{cases} \Rightarrow P_{atm} + \rho_A g(h_A - h_c) = P_{atm} + \rho_B g(h_B - h_D)$$

Et puis que $h_C = h_D$ $\Longrightarrow \rho_A g(h_A - h_c) = \rho_B g(h_B - h_D)$

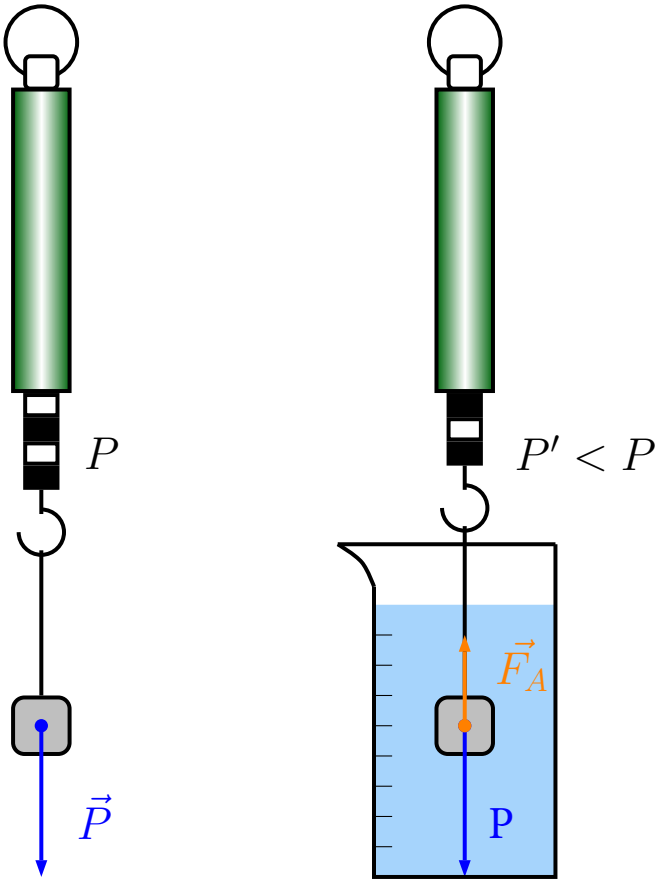
$$\rho_A = \rho_B \frac{(h_A - h_c)}{(h_B - h_c)}$$

S'il y'a deux liquides non miscibles dans une vase, le plus lourd occupe le fond des vases.

3 La poussée d'Archimède

3.1 Mise en évidence expérimentale

Mesurons le poids P d'un corps à l'aide d'un dynamomètre. Puis plongeons le corps dans de l'eau (ou dans un autre liquide) :



Poids et poids apparent

On constate que le poids du corps plongé dans le liquide *semble* être devenu plus petit. Cependant, il est évident que le poids $\vec{P}$ n'a pas changé, comme la Terre attire le corps toujours avec la même intensité.
Il doit donc y avoir une force supplémentaire, exercée par le liquide sur le corps. Cette force doit être *verticale* et orientée *vers le haut* (elle s'oppose au poids). Cette force s'appelle **poussée d'Archimède**. Elle est représentée par le vecteur $\vec{F_A}$.

La force mesurée par le dynamomètre lorsque le corps plonge dans le liquide est le **poids apparent** $\vec{P'}$. C'est la *force résultante* du poids $\vec{P}$ et de la poussée d'Archimède $\vec{F_A}$:

$$\vec{P'} = \vec{P} + \vec{F_A} \quad et \quad P' = P - F_A$$

Il en résulte que l'intensité de la poussée d'Archimède vaut :

$$F_A = P - P'$$

On constate de plus que *la poussée d'Archimède est indépendante de la profondeur d'immersion et de l'orientation du corps dans le liquide.*

3.2 Le principe d'Archimède

3.2.1 Expérience

A l'aide d'un dynamomètre, mesurons le poids P d'un solide : $P =$

Plongeons ensuite le solide dans un bécher «trop-plein», rempli d'eau (ou d'un autre liquide) et recueillons l'eau déplacée dans un autre récipient.

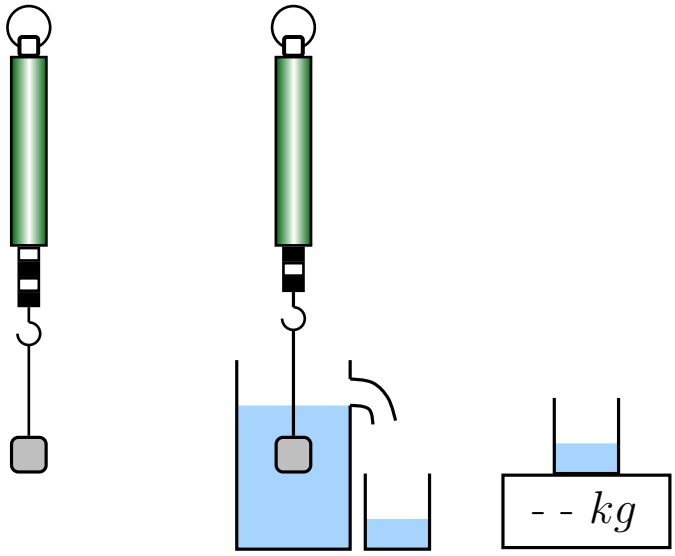


FIGURE II.14 – Mesure du poids du liquide déplacé

Mesurons le poids apparent : $P' =$

Nous en déduisons la valeur de la poussée d'Archimède : $F_A = P - P' =$ $P_{liq.\ d'epl.}$

Le poids du liquide déplacé vaut alors : $P_{liq.\ d'epl.} = m_{liq.\ d'epl.} \cdot g$

3.2.2 Le principe d'Archimède

Tout corps solide complètement immergé dans un liquide en équilibre subit de la part du liquide une poussée verticale ascendante dont l'intensité est égale au poids du liquide déplacé.

$$F_A = P_{liq.\ dépl.}$$

Le volume du liquide déplacé est égal au volume du corps V.

Donc : $P_{liq.\ dépl.} = m_{liq.\ dépl.} \cdot g = \rho_{liq.} \cdot V \cdot g$.

Finalement, on peut facilement calculer la poussée d'Archimède par la formule :

$$F_A = \rho_{liq.} \cdot g \cdot V$$

avec $\rho_{liq.}$ la masse volumique *du liquide* et V le volume *du corps*.

3.2.3 Etablissement théorique de la formule d'Archimède

Soit un parallélépipède de base S et de hauteur h, plongé dans un liquide de masse volumique $\rho_{liq.}$.

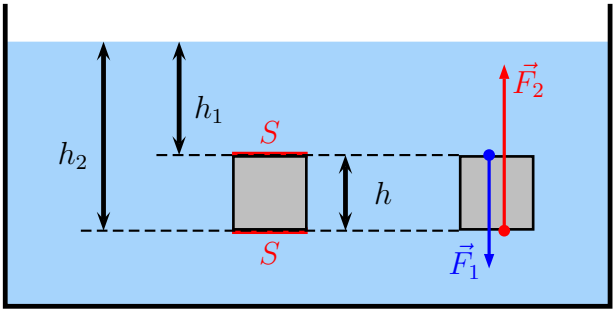


FIGURE II.15 – Parallélépipède immergé dans un liquide

La face supérieure se trouve à une profondeur h_1, la face inférieure à une profondeur $h_2 (= h_1 + h)$.

La pression hydrostatique à la profondeur h_1 vaut : $p_1 = \rho_{liq.} \cdot g \cdot h_1$
En h_2, elle vaut : $p_2 = \rho_{liq.} \cdot g \cdot h_2$

Le liquide exerce donc la force pressante ascendante $\vec{F_2}$ sur la face inférieure telle que :

$$F_2 = p_2 \cdot S = \rho_{liq.} \cdot g \cdot h_2 \cdot S$$

De même : La norme de la force pressante descendante $\vec{F_1}$ exercée par le liquide sur la face supérieure vaut :

$$F_1 = p_1 \cdot S = \rho_{liq.} \cdot g \cdot h_1 \cdot S$$

Comme $F_2 > F_1$, le corps est soumis à une force résultante $\vec{F_A} = \vec{F_1} + \vec{F_2}$ dirigée vers le haut et de norme :

$$\begin{aligned} F_A = F_2 - F_1 &= \rho_{liq.} \cdot g \cdot S \cdot (h_2 - h_1) && \mid \text{or : } h_2 - h_1 = h \\ &= \rho_{liq.} \cdot g \cdot S \cdot h && \mid \text{or : } S \cdot h = V \text{ (volume du corps)} \\ &= \rho_{liq.} \cdot g \cdot V \end{aligned}$$